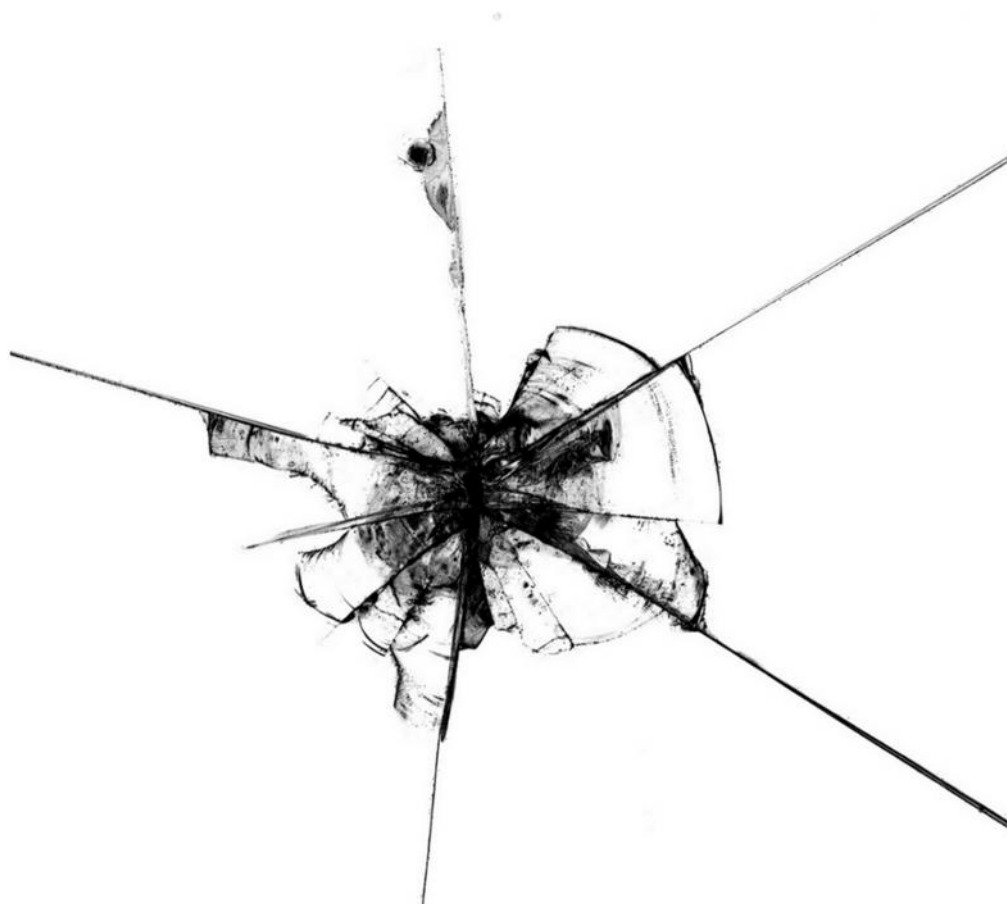


CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS VIDRIOS DE FACHADA



ALDO VENTURA AYALA
CRISTINA PARDAL

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1.	JUSTIFICACIÓN	5
1.2.	OBJETIVOS.....	6
1.3.	METODOLOGÍA.....	6
2.	ESTADO DEL ARTE	7
2.1.	LA INDUSTRIA	7
2.2.	EL VIDRIO EN CONSTRUCCIÓN	7
2.3.	MATERIAS PRIMAS, ENERGÍA Y EMISIONES.	8
3.	PROCESOS Y SU IMPACTO AMBIENTAL	10
3.1.	PROCESO DE FLOTADO Y TRATAMIENTOS EN LÍNEA	10
3.2.	TRATAMIENTOS POST-LÍNEA	12
3.2.1.	TRATAMIENTOS TÉRMICOS	12
3.2.2.	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	13
3.2.3.	PROCESOS DE MONTAJE	13
3.3.	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS	15
3.3.1.	MATERIAS PRIMAS	15
3.3.2.	IMPACTO ENERGÉTICO	17
3.3.3.	CONSUMO DE AGUA	18
3.3.4.	EMISIONES AL AIRE	18
4.	LA VIDA ÚTIL DEL VIDRIO	20
4.1.	PROPIEDADES GENERALES.....	20
4.2.	PROPIEDADES ENERGÉTICAS	21
4.2.1.	EL VIDRIO Y LA RADIACIÓN SOLAR	21
4.2.2.	EL VIDRIO Y EL CALOR	23
5.	ANÁLISIS COMPARATIVO	25
5.1.	CASOS DE ESTUDIO	25
5.2.	PARÁMETROS Y MÉTODO DE EVALUACIÓN.....	27
5.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO POR VIDRIOS	28
5.3.1.	VIDRIO SIMPLE Y DOBLE	28
5.3.2.	VIDRIO LAMINADO	29
5.3.3.	VIDRIO LOW-E Y VIDRIO DE DOBLE CAPA	29
5.4.	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS	31
5.4.1.	LAMINDO VS SELLADO HERMÉTICO	31
5.4.2.	PIROLÍTICO VS MAGNETRÓNICO	32
6.	CONCLUSIONES	33
7.	BIBLIOGRAFÍA	34

▪ LISTA DE IMÁGENES

Ilustración 1: Porcentajes de acristalamientos usados en Europa. (SGG 2014)	7
Ilustración 2: Porcentajes de energía usadas en fabricación del vidrio plano. (D E Medio Ambiente 2004).....	8
Ilustración 3: Proceso de flotación del vidrio (European IPPC Bureau 2013).....	11
Ilustración 4: Proceso de templado (AGC 2013).....	12
Ilustración 5: Proceso magnetronico (AGC 2013).....	13
Ilustración 6: Proceso de laminación del vidrio o calandrado (AGC 2013)	14
Ilustración 7: Proceso de doble vidriado hermético (Vásquez Zaldívar 2006).....	14
Ilustración 8: Espectro solar radiante (AGC 2013).....	21
Ilustración 10: Descomposición de la radiación solar incidente. (Saint Gobain Glass 2004)	22
Ilustración 11: Vidrio simple. Elaboración propia	25
Ilustración 12: Vidrio doble hermético. Elaboración propia.....	25
Ilustración 13: Vidrio laminado. Elaboración propia.....	26
Ilustración 14: Vidrio Low-E Elaboración propia.....	26
Ilustración 15: Vidrio de doble capa. Elaboración propia	26
Ilustración 16: Izq. Análisis del vidrio simple (tipo 1). Der. Análisis del vidrio doble (tipo 2) Elaboración propia.....	28
Ilustración 17: Izq. Análisis del vidrio laminado (tipo 3). Der. Comparación entre vidrios tipo 2 y 3. Elaboración propia.....	29
Ilustración 18: Izq. Análisis de vidrio Low-E (tipo 4). Der. Análisis de vidrio de doble capa (tipo 5) Elaboración propia.....	30
Ilustración 20: Kg de CO ₂ para dos lunas de 6mm con un montaje sellado y otro laminado Elaboración propia.	31
Ilustración 19: Energía incorporada en dos lunas de 6mm para un montaje sellado y otro laminado Elaboración propia.	31
Ilustración 22: Kg de CO ₂ para dos lunas de 6mm con un proceso magnetronico y otro pirolítico Elaboración propia).....	32
Ilustración 21: Energía incorporada para dos lunas de 6mm con un proceso magnetronico y otro pirolítico Elaboración propia. ..	32

▪ LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Energía incorporada en materiales usados en construcción. (SERT 2014).....	9
Tabla 2: Procesos de fabricación de los tipos de vidrios. Elaboración propia. Fuente: (Vásquez Zaldívar 2006)	10
Tabla 3: Porcentaje de materias primas usadas en el sector del vidrio plano. (D E Medio Ambiente 2007)	16
Tabla 4: Consumo de energía por etapas para el vidrio flotado. (D E Medio Ambiente 2007).....	18
Tabla 5: Emisiones para el sector del vidrio plano en hornos con y sin eliminación. (D E Medio Ambiente 2004).....	19
Tabla 6: Estudio comparativo de consumo energético y emisiones para 7 hornos (D E Medio Ambiente 2004)	19
Tabla 7: Principales propiedades de los vidrios de silicato sodocalcicos. (AGC 2013).....	20
Tabla 8: Procesos de fabricación de cada vidrio. (Elaboración propia)	25
Tabla 9: Exposición de los valores de los parámetros para cada vidrio. Elaboración propia.....	28

RESUMEN

Este estudio pretende desarrollar una metodología de análisis energético de elementos constructivos que permita establecer unos criterios cuantificables relacionados con el impacto ambiental de los diferentes productos industriales. Para desarrollar esta metodología se ha elegido la ventana y en concreto el vidrio atendiendo a la multitud de funciones que desempeña y al elevado coste ambiental derivado de la fabricación. Se compararán los diferentes tipos de acristalamiento que se encuentran hoy en el mercado realizando un balance energético. Este tratará de relacionar la energía incorporada en el proceso de industrialización del material con las características energéticas del producto resultante obteniendo una evaluación energética estándar que permita comparar elementos constructivos de la misma índole.

Eficiencia, Impacto ambiental, Evaluación energética, Vidrios

1 . I N T R O D U C C I Ó N

En el actual contexto de crisis energética, donde el petróleo alcanza sus límites (PEAK OIL) y no hemos encontrado un sustituto que pueda resolver el problema, la eficiencia empieza a ser una preocupación de orden prioritario para el conjunto de la sociedad. Nos encontramos en un momento crítico no solo por el elevado impacto ambiental del consumo diario de energía mundial, sino también en cuanto a la energía y los residuos contaminantes que se desprenden de la extracción y procesos de industrialización de las materias primas. IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), estima que si seguimos creciendo al ritmo actual, en 35 años estaremos duplicando el consumo mundial de energía y en menos de 55 años lo triplicaremos. Si centramos el foco en el sector de la construcción, podemos observar que es uno de los que genera mayor impacto ambiental. Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de recursos naturales y contribuyen en gran manera al aumento de las emisiones y la contaminación, tanto durante el proceso constructivo, como a lo largo de su vida útil.

A modo de paliativo para esta problemática, desde hace algunos años se viene fomentando normativas tales como la Directiva de eficiencia energética en edificios (2002/91/CE), nacida del protocolo de Kioto de 1997, que ha desarrollado algunos temas entre los que cabe nombrar la actual certificación energética en España. Este insuficiente paso que pretende evaluar el funcionamiento energético de una vivienda es en mi opinión un proceso de certificación que mercantiliza y delimita las cuestiones energéticas en la edificación.

1 . 1 . J U S T I F I C A C I Ó N

El papel del arquitecto dentro de esta crisis, está fuertemente ligado a la dependencia que actualmente existe de la industrialización del sector de la construcción. Por tanto, una de las formas más directas de conseguir una arquitectura eficiente y sostenible es a través de la elección de los materiales y elementos constructivos que conformarán el diseño final del edificio. Esta elección, viene determinada por muchos parámetros, pero principalmente es el motivo económico el que acaba decantando la balanza por un elemento u otro, pero ¿debe ser la economía el criterio arquitectónico determinante? ¿cuáles deberían ser los criterios de elección adecuados? Si intentáramos responder a estas preguntas desde la eficiencia energética, la sostenibilidad y el medio ambiente, nos daríamos cuenta de que en la actualidad el arquitecto carece de las herramientas y la información necesaria. A pesar de conocer bien el funcionamiento de los elementos durante su vida útil, desconocemos casi siempre el impacto ambiental de su proceso de industrialización. Es la relación entre este proceso y los posibles beneficios de funcionamiento durante su vida útil la que nos haría comprender en cada caso si estamos haciendo una buena elección energética.

1.2. OBJETIVOS

- Conocer el impacto ambiental que deriva de los procesos de fabricación de los diferentes tipos de acristalamientos utilizados en el ámbito de la construcción.
- Ordenar y relacionar los valores de los parámetros que caracterizan energéticamente a los vidrios estudiados y así facilitar su comparación.
- Realizar una evaluación comparativa entre varios tipos de vidrio teniendo en cuenta la relación entre las prestaciones con los impactos ambientales derivados.

1.3. METODOLOGÍA

Con el fin de comparar en base a los mismos indicadores los diferentes acristalamiento se procederá, en primer lugar, a estudiar el impacto ambiental derivado de los procesos de extracción de materias primas y fabricación del vidrio. Se cuantificará en base a una unidad de masa las materias primas extraídas, la energía consumida en los diferentes procesos de fabricación, las emisiones al aire y al agua, y el consumo de agua. Este análisis se denomina comúnmente “de la cuna a la puerta”, aunque en este caso no se realice un estudio completo de análisis de ciclo de vida.

En segundo lugar, se analizará el funcionamiento energético del vidrio para tener una idea completa de las características derivadas de los procesos de fabricación estudiados. Se analizará especialmente los parámetros relacionados con la transmisión de radiación (onda corta) y el calor (onda larga).

Para finalizar el estudio se elegirán 5 tipos de vidrios utilizados comúnmente en construcción. Cada modelo será comparado en función de dos parámetros derivados de su impacto ambiental de fabricación y dos parámetros derivados del funcionamiento durante su vida útil.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. LA INDUSTRIA

El vidrio es, en nuestra sociedad actual, un producto normalizado con infinidad de usos en diversos sectores. El sector más destacado es el de los envases, pero también posee relativa importancia el vidrio plano para construcción o el vidrio para el sector del automóvil. España es el cuarto país en producción de vidrio de la Unión Europea y el impacto económico de la industria tiene un efecto notable sobre el PIB siendo por tanto un sector estratégico.

Este proceso industrial requiere una gran cantidad de energía debido a que principalmente consiste en fundir a altas temperaturas una serie de óxido donde el de sílice es el mayoritario. Además, como la mayoría de procesos de fundición la emisión de gases y partículas tanto al agua como al aire adquieren una gran importancia.

Atendiendo al ámbito del vidrio plano utilizado en construcción, solo en España se fabricaron más de 1000 toneladas en el año 2003 siendo el segundo subsector en producción después del vidrio hueco.



Ilustración 1: Porcentajes de acristalamientos usados en Europa. (SGG 2014)

2.2. EL VIDRIO EN CONSTRUCCIÓN

En este caso tratamos únicamente los vidrios de silicatos sodocalcicos flotados para el uso en construcción. Estos vidrios presentan una alta transmisión lumínica que los hace adecuados para su empleo en ventanas.

La evolución de las técnicas de climatización y la mejora de las características energéticas del vidrio hacen que poco a poco el porcentaje transparente de fachada haya ido aumentando hasta el punto de que en la actualidad es usual encontrar edificios con fachadas totalmente acristaladas.

El hueco es el elemento de mayor complejidad de la fachada. El amplio abanico de funciones que debe cumplir hace en ocasiones difícil la elección de los métodos o elementos constructivos adecuados. En esta tesina estudiará las 2 funciones energéticas del vidrio relacionadas con la térmica; la transmitancia térmica “U” y el factor solar “Fs”. Ambos factores, como todo lo relacionado con las características del vidrio está ampliamente estudiado por las diferentes empresas que conforman la industria. Suele ser común que los valores varíen mínimamente en función de la empresa que los fabrica

Es importante tener en cuenta que el vidrio necesita de una estructura portante que asegure la estanqueidad y la seguridad estructural. Esta a su vez lleva una serie de anclajes que fijan el conjunto de la ventana a la estructura del edificio. Sus dimensiones vienen determinadas por el peso de la ventana que en los casos de doble o triple acristalamiento aumenta considerablemente. Las carpinterías más utilizadas en España son las de madera, aluminio y PVC, mientras que los soportes estructurales suelen ser perfilaría metálica. Para este estudio no se cuantificará el impacto ambiental de este tipo de elementos estructurales, pero sí se establecerá una unidad funcional básica donde poder evaluar y comparar los diferentes tipos de acristalamiento dentro del conjunto.

2.3. MATERIAS PRIMAS, ENERGÍA Y EMISIONES.

Relacionar el impacto ambiental de un producto con el impacto ambiental de su vida útil no es algo habitual en materiales de construcción. Este tipo de relaciones suele calcularse por el fabricante con el fin de conocer el las posibles mejoras aplicables a su negocio. En el caso del vidrio, encontrar información sobre las propiedades de los acristalamientos es fácil y habitual, mientras que solo Saint Gobain Glass tiene publicaciones relativas al ciclo de vida de sus productos.

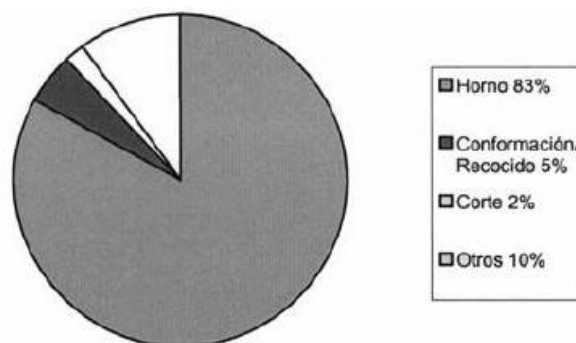


Ilustración 2: Porcentajes de energía usadas en fabricación del vidrio plano. (Ministerio de Medio Ambiente 2004)

Las materias utilizadas en la fabricación del vidrio plano flotado pueden organizarse en función del proceso de fabricación al que sirven. Dentro de las materias primas encontramos aquellas que se utilizan para la formación del vidrio; arena de sílice, vidrios desechados del proceso de fabricación y en un porcentaje pequeño vidrios desechados del consumo. También se introducen en la mezcla materiales fundentes, estabilizantes y afinantes. Por otro lado, para cambiar las propiedades resultantes se añaden otros elementos como los agentes colorantes o los compuestos para la aplicación de capas en línea. Por último, tendremos una serie de materias primas secundaria derivadas de procesos como el embalaje, el engrase de máquinas o los productos químicos utilizados para la refrigeración del agua.

El proceso de fabricación del vidrio utilizado en construcción es el flotado sobre estaño. Este proceso consiste en fundir las materias primas y verterlas sobre estaño líquido haciendo flotar la mezcla. Por ser un proceso térmico necesita grandes cantidades de energía que se invierten principalmente en la fusión. El horno que se utiliza en este tipo de procesos suele ser de llama transversal con precalentamiento de aire regenerativo y el su consumo depende de factores como su edad de funcionamiento o su capacidad.

Las principales fuentes energéticas utilizadas son los siguientes combustibles fósiles: gas natural y fuel. El porcentaje de energía eléctrica consumida es muy pequeño ya que se utiliza solo para el proceso de cortado u otros procesos secundarios. El consumo estimado para un horno de estas características oscila los 5,7 y 8 GJ/T según el bref del vidrio 2004.

Por ser un proceso de combustión, las emisiones de gases contaminantes tienen una relevancia significativa y ha supuesto una de las cuestiones principales a modificar dentro de la industria en los últimos años. Las sustancias más significativas expulsadas al aire son el óxido de nitrógeno y el óxido de azufre, aunque existen otras como se detalla en la tabla.

MATERIAL	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)	Energía / Peso específico (MJ/m ³)
Acero virgen	35.40	2.71	0.0037
Acero reciclado	9.40	0.44	0.0018
Aluminio general	155	8.24	0.057
Aluminio reciclado	29.0	1.69	0.0107
Cemento general	4.5	0.73	0.0013
Cemento Portland 94% Clinker	5.5	0.93	
Cerámica general	10	0.66	
Concreto general	0.75	0.10	0.00031
Ladrillo	3.00	0.23	0.0017
Nylon (Poliamida) 300g/m ²	130/m ²	6.7 GWP/m ²	
Vidrio Plano	15	0.86	0.006

Tabla 1: Energía incorporada en materiales usados en construcción. (SERT 2014)

3. PROCESOS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

La gran variedad de vidrios que podemos encontrar actualmente en el mercado, conllevan una evolución continuada de las técnicas de producción. A continuación se esquematizan todos los procesos utilizados en la actualidad para transformar el vidrio flotado en otro producto con características diferentes. Los marcados en color son aquellos que se han tenido en consideración en este estudio por tener un uso energético durante su vida útil.

Proceso de flotado			Vidrio crudo incoloro
Procesos aplicados durante la fabricación	Procesos que modifican la cadena de flotado	Coloreado en masa	Vidrio de color
			Vidrio extralargo
		Pirólisis	Vidrio pirólitico reflectivo
			Vidrio pirólitico Low - E
	Procesos que modifican la cadena de estirado o moldeado	Armado	Vidrio armado
		Impreso o estampado	Vidrio estampado
			Bloque de vidrio
		Moldeado	Perfil de vidrio
Procesos realizados después de la fabricación	Procesos de presión	Revestimiento al vacío	Vidrio magnetróptico reflectivo
			Vidrio magnetróptico Low - E
	Procesos por temperatura	Termo formado	Vidrio curvo
			Vidrio esmaltado
		Revestimiento térmico	Vidrio serigrafado
			Vidrio templado
		Tratamientos térmicos	Vidrio termo endurecido
			Vidrio esmerilado
	Procesos fríos	Tratamientos de superficie	Vidrio grabado en ácido
			Perforaciones y cortes
		Tratamientos del canto	Vidrio pulido
			Vidrio laminado
Montajes realizados después de la fabricación	Proceso de montaje por presión y temperatura		Doble vidrio hermético
	Proceso de montaje de vidrio doble hermético		

Tabla 2: Procesos de fabricación de los tipos de vidrios. Elaboración propia. Fuente: (Vásquez Zaldívar 2006)

3.1. PROCESO DE FLOTADO Y TRATAMIENTOS EN LÍNEA

Las materias primas utilizadas para la fabricación del vidrio plano flotado son las que se muestran en la figura X. Todas estas sustancias pasan un proceso de pesaje y molienda para posteriormente ser fundidas a unos 1500 grados. Esta sustancia se llama mezcla vitrificante.

En este punto inicial del proceso encontramos el primer tratamiento que permite modificar las características finales del vidrio a través de la introducción de pigmentos.

■ COLOREADO EN MASA

El vidrio coloreado en masa se obtiene de la introducción de pigmentos de diferentes materias primas a la mezcla inicial. Esto no altera el proceso de fabricación. La diferencia principal resultará de calcular el coste energético del añadido de estas materias primas, su transporte y extracción, aunque su proporción con respecto al resto de materias primas es muy pequeña.

- Cobalto y níquel: tinte gris
- Oxido ferroso: tinte azul
- Oxido de manganeso: tinte violeta
- Hierro férrico: tinte amarillo

Una vez fundida la mezcla se vierte sobre una balsa de estaño fundido a 1000 grados. Por la diferencia de densidades y la tensión superficial entre el estaño y el vidrio, la mezcla flota formándose capas planas de caras paralelas. En este momento la atmosfera está completamente controlada para evitar combustiones del estaño. Antes de entrar en el túnel de recocido, que sería el proceso convencional para un vidrio flotado, puede aplicarse el primer proceso de revestimiento superficial llamado pirolítico o de capa dura.

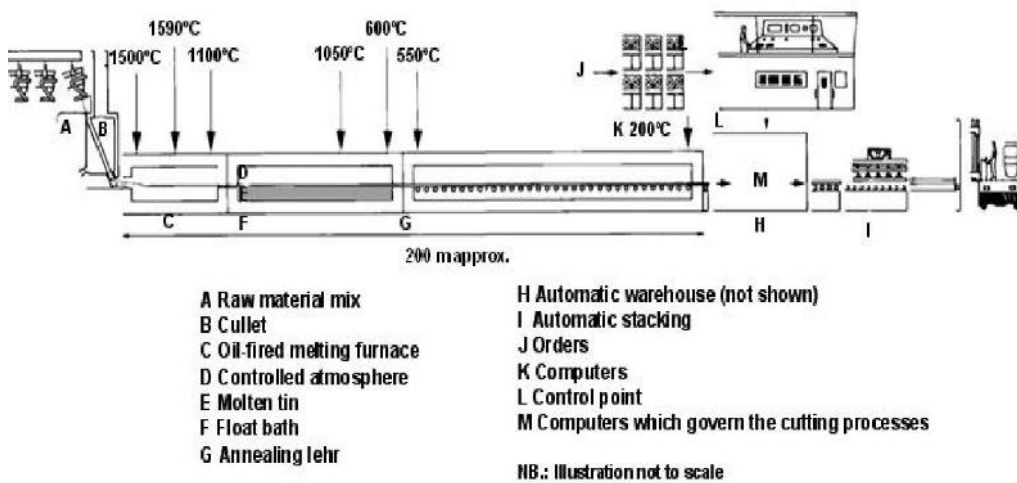


Ilustración 3: Proceso de flotación del vidrio (European IPPC Bureau 2013)

Con el fin de añadir diferentes cualidades a los vidrios, se inventó el procedimiento de insertar un revestimiento metálico a una de las caras del vidrio a través de un tratado por pirólisis que se realiza durante el proceso de fabricación. En esencia, consiste en inflamar la capa depositada haciéndola adherirse al vidrio de forma resistente. Este tratamiento necesita una cámara especial dentro de la maquinaria de flotado que se encuentra antes del horno de recocido y se realiza a una temperatura de 600 °C. La capa depositada suele tener un grosor de 100-400nm. “Dependiendo del tipo de óxidos utilizados en el proceso es posible obtener vidrios pirolíticos de control térmico o de control solar”, (Vásquez Zaldívar 2006)

El objetivo del recocido, donde el vidrio se enfriará de forma controlada desde 600 a 200 grados aproximadamente, es controlar este enfriamiento para evitar posibles tensiones por la variación brusca de temperatura. Una vez terminado el recocido pasamos a la fase de corte donde el vidrio ya se encuentra a una temperatura de 60 grados. *“Los bordes de la lámina, que tienen marcas de las ruedas dentadas, se cortan y se reciclan al horno como casco. Las hojas de vidrio son luego inspeccionadas, empaquetadas, almacenadas y embaladas para su venta o para proceso secundario.”* (Ministerio de Medio Ambiente 2004). El porcentaje de reciclado es aproximadamente de un 20 % según el Bref del vidrio 2004

3.2. TRATAMIENTOS POST-LÍNEA

Existen muchos tipos de tratamientos posteriores a la fabricación por flotado del vidrio. A continuación se detallan únicamente los que se analizarán en este estudio. La elección viene determinada por la relevancia energética del proceso y su influencia en la energía incorporada en el producto final o por la variación que genera en la energía de funcionamiento del producto con respecto al producto básico.

3.2.1. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Además del proceso de templado que se explicará a continuación, existe el proceso de semi-endurecido que varía con respecto al templado en la velocidad de enfriamiento.

▪ TEMPLADO

Este proceso se desarrolla con una maquinaria independiente a la del proceso de flotado y consiste en calentar nuevamente el vidrio hasta el punto de reblandecimiento, unos 640 °C, para seguidamente enfriarlo de forma rápida impulsando aire frío sobre sus superficies. Esto crea unas tensiones entre el interior y el exterior del vidrio que posteriormente le proporcionaran un mejor rendimiento a tracción, ya que su superficie estará comprimida mientras que su interior estará trabajando a tracción. Los vidrios templados son vidrios de seguridad debido a que la energía liberada al romperse provoca que los fragmentos sean pequeños y redondeados. Los vidrios coloreados también suelen templarse puesto que deben resistir un mayor calentamiento por su alta absorción.

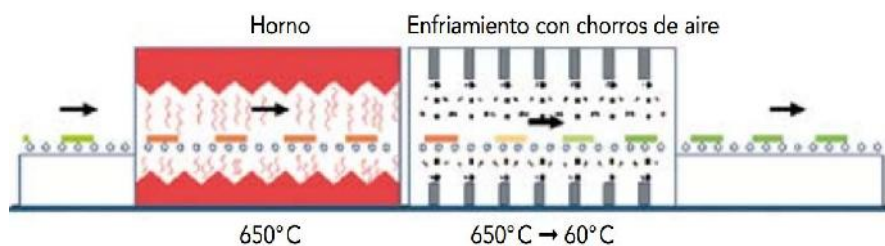


Ilustración 4: Proceso de templado (AGC 2013)

3.2.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Junto a de las capas pirolíticas y magnetrónicas encontramos otro tipo de vidrios como el esmaltado o el serigrafiado que no explicaremos pues su uso suele ser decorativo y no energético.

▪ PULVERIZACIÓN CATÓDICA AL VACÍO

Este proceso se realiza con una maquinaria independiente de la línea de fabricación convencional. Consiste en depositar partículas metálicas sobre la superficie del vidrio utilizando descargas eléctricas entre un cátodo y un ánodo en una cámara de vacío.

“El vapor es obtenido por bombardeo de partículas de un gas, parcialmente ionizado, sobre el cátodo del material a depositar, arrancando átomos de éste que se proyectan sobre el sustrato. La descarga de los iones positivos del gas produce electrodos secundarios que vuelven a entrar en colisión con los átomos del gas ionizado de nuevo, dando continuidad al ciclo.” (Escribano 1994)

Esta capa se llama magnetrónica y al vidrio resultante se denomina generalmente vidrio de capa blanda. Al igual que el vidrio pirolítico, en función del metal utilizado el producto será reflexivo o bajo emisor. El transporte y almacenaje de estos vidrios debe realizarse con especial cuidado pues no soportan el contacto con el ambiente, ni la manipulación directa.

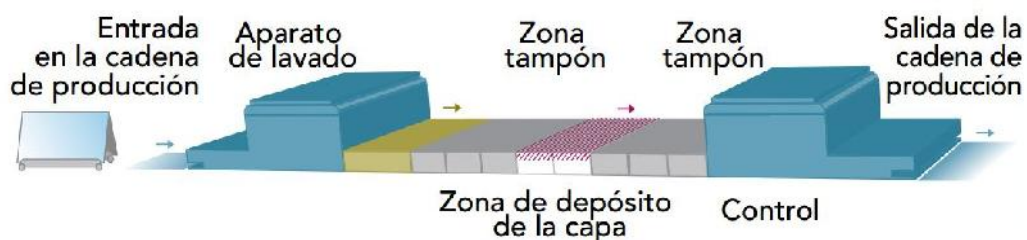


Ilustración 5: Proceso magnetrónico (AGC 2013)

3.2.3. PROCESOS DE MONTAJE

El montaje de diferentes tipos de vidrios permite conjugar varias características en un solo acristalamiento, para que se pueden resolver varias exigencias de forma sencilla. Existen dos métodos principales de montaje del vidrio: el laminado y el sellado hermético de dos o más lunas.

▪ VIDRIO LAMINADO

Este proceso, también denominado calandrado, consiste en adherir dos o más vidrios entre sí a través de una lámina de butiral de polivinilo (PVB). Se realiza con una maquinaria específica que calienta y presiona el conjunto en un ambiente controlado de impurezas evitando la formación de burbujas de aire. El resultado después de varias fases de presión es un vidrio transparente y una unión firme entre las dos capas. Esta clase de acristalamientos se usa como aislante acústico, vidrio de seguridad y para el control de los rayos UV.

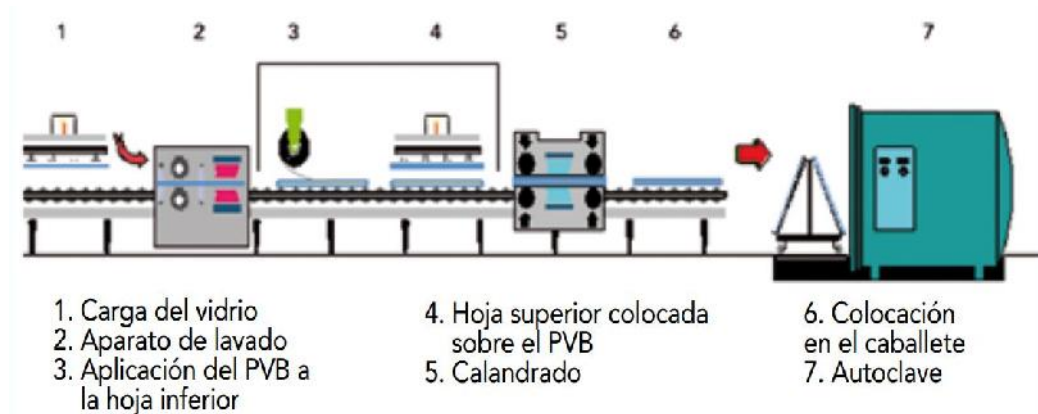


Ilustración 6: Proceso de laminación del vidrio o calandrado (AGC 2013)

▪ PROCESO DE DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO

En este caso se unen dos o más vidrios paralelos con un perfil perimetral, que normalmente es de aluminio anodizado, dejando entre ellos una cámara espaciadora que puede rellenarse con aire deshidratado o gas inerte. El sellado se obtiene colocando una lámina de polisobutileno de baja permeabilidad entre el aluminio y el vidrio. Asimismo, el perfil contiene unas sales en su interior que absorben la humedad de la cámara. Para finalizar el conjunto se somete a dos fases de sellado que aseguran su hermeticidad y su resistencia como sistema. Este tipo de acristalamientos aprovecha las características térmicas del aire y evita la condensación en el interior debido a que la superficie está casi a la misma temperatura que el interior.

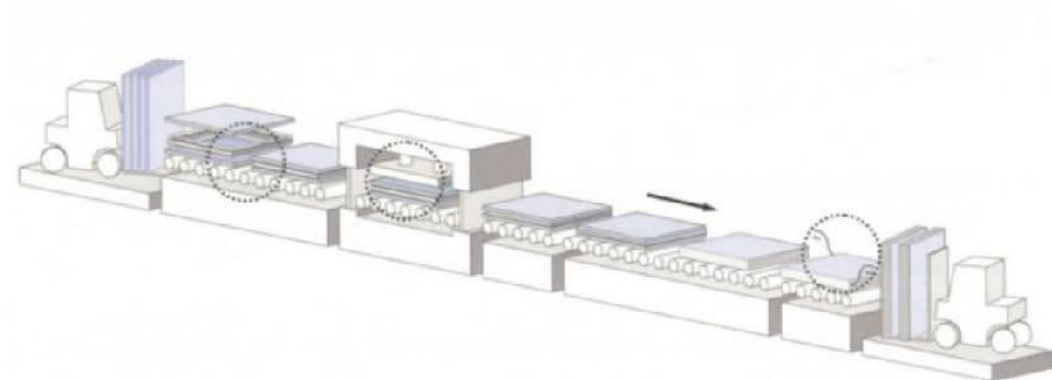


Ilustración 7: Proceso de doble vidrioado hermético (Vásquez Zaldívar 2006)

3.3. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS

La influencia sobre el planeta que puede tener un producto determinado puede medirse en función de diferentes indicadores. En este caso se hará un resumen de los diferentes indicadores disponibles y se centrará la atención en aquellos que puedan tener mayor relevancia.

3.3.1. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas principales son la arena de sílice y los casquetes de vidrio reciclado tanto de los desechos de fabricación como los reciclados post-uso. En el caso del vidrio plano el porcentaje de vidrio reciclado del proceso es muy superior al reciclado del consumo, siendo el porcentaje de reciclado del 20% aproximadamente. De igual forma, el reciclado produce grandes beneficios por que el porcentaje aprovechado de material es del 100% y su temperatura de fundición es muy inferior a la de la arena de sílice, con lo que se reduce significativamente el consumo energético. Por otra parte, tenemos las materias primas secundarias que son las encargadas de cumplir diferentes funciones de mejora de la mezcla.

▪ PROCESO PRINCIPAL DE FLOTADO

Casi el 100% de las materias primas que se encuentran en el producto final se introducen al principio del proceso a través de la mezcla vitrificante. El compuesto con más peso en la composición del vidrio es el óxido de silicio con un 72,6% que se extrae de la arena silicio o de piedra arenisca. Los niveles de pureza necesarios para el vidrio son muy elevados, de modo que también se realizan una serie de procesos para limpiar y eliminar posibles impurezas antes de realizar la fundición. La arena de silicio puede encontrarse en abundancia en la superficie terrestre y la extracción es posible en España.

El segundo compuesto en cantidad es el óxido sódico con un 13,6% que tiene como fuente principal el carbonado sódico. En Europa es fabricado a partir de la sal, aunque también existe la posibilidad de traerlo desde EEUU de forma natural. Otras fuentes de óxido sódico son el sulfato sódico anhídrido y el nitrato sódico, dos aditivos utilizados como agentes afinantes y oxidantes. Ambos son productos sintéticos. Los aditivos oxidantes se utilizan principalmente para bajar la temperatura de fusión de la mezcla vitrificante.

El óxido de calcio con un 8,6% es el tercer compuesto. Su fuente principal es la piedra caliza que sufre un proceso de extracción y trituración anterior al fundido. El sulfato cálcico y el yeso también aportan óxido de calcio y son utilizados como afinantes y oxidantes. Ambos pueden ser extraídos de la naturaleza o generados sintéticamente. Es posible la extracción en muchas partes de España.

El óxido de magnesio se encuentra en un 4,1% siendo el cuarto compuesto. Su fuente principal es la dolomita, mineral que se obtiene de la naturaleza que también aporta óxido de calcio. Es posible encontrarlo en muchos puntos de España como la cuenca del Ebro o la cordillera cantábrica.

El óxido de aluminio se encuentra en un porcentaje del 0,7 % y constituye uno de los dos elementos minoritarios de la mezcla. Su fuente principal es la sienita nefelínica, una roca plutónica que se extrae principalmente en Noruega y China.

El segundo de los compuestos minoritarios es el óxido potásico con un 0,3%. Sus fuentes principales es el carbonato potásico y el nitrato potásico, ambos productos sintéticos. El nitrato potásico es un aditivo utilizado como oxidante y afinante.

Arena	61 %
Carbonato sódico	18 %
Dolomía	16 %
Caliza	2 %
Escoria	0,9 %
Feldespatos/nefelina	0,8 %
Sulfato sódico	0,7 %
Óxido de hierro	0,1 %
Carbón	0,02 %
Colorantes	<0,001 %

Tabla 3: Porcentaje de materias primas usadas en el sector del vidrio plano. (Ministerio de Medio Ambiente 2007)

▪ PROCESOS SECUNDARIOS

Para el proceso del laminado del vidrio se utiliza un producto sintético llamado polivinil butiral (PVB). Esta resina es un polímero sintético resultado de mezclar alcohol de polivinilo (PVA) con butiraldehído. Esta lámina tiene por lo general, en función del uso, unos grosores estándares: 0,38mm; 0,76mm; 1,14mm; 1,52mm

En los procesos de aplicaciones de capas metálicas, el porcentaje de materia prima añadido es casi despreciable, pues estamos hablando de capas cuyo espesor se mide en micras. Para los vidrios de control solar se usan capas de metales reflectantes como el nitrato plata o el nitrato de titanio. Para las capas bajo emisivas se emplean capas metálicas transparentes al espectro visible pero reflectante a los infrarrojos. “... se emplean recubrimientos transparentes de SnO_2 dopados con iones fluoruro (FTO) que, al aumentar la conductividad eléctrica, disminuyen la transmisión infrarroja.” (Fernández Navarro 1991)

En ocasiones, en los vidrios dobles herméticos (VDH), la cámara de aire resultante es rellenada con gases pesados con el fin de mejorar las propiedades térmicas del vidrio. El gas más utilizado en este proceso es el argón, un gas incoloro, no contaminante, que se encuentra en la

naturaleza. El aire que respiramos contiene un 0,93% de este gas. De igual forma, este proceso también necesita de un perfil perimetral de aluminio anodizado y un acabado de polisobutileno como sellante.

3.3.2. IMPACTO ENERGÉTICO

Es muy difícil conocer el consumo energético de cada proceso que desarrolla la fabricación y tratado del vidrio. Este consumo depende de factores tan variables como la calidad de la máquina, el transporte entre fábricas (algunos de los tratamientos no se realizan en las mismas fábricas), etc.

▪ PROCESO DE FLOTADO

El proceso de flotado comprende diferentes fases: (1) recepción, mezclado y triturado de materias primas, (2) fundición de la mezcla vitrificante, (3) recocido, (4) cortado y lavado.

Este proceso de fabricación del vidrio monolítico plano está comprendido por estas fases. El consumo de energía de este proceso ocurre principalmente en la fase de fundición con un 75% aproximadamente del proceso total. El combustible utilizado en España para esta fase es normalmente el gas natural aunque no es extraño que también se utilice el fuel. El consumo energético de un horno de llama transversal suele ser de uno 6,3GJ/T (Technisches Büro für Umwelttechnik 1999). Si a este valor le sumamos la energía consumida por el resto de fases, el valor no sobrepasa los 8GJ/T, es decir que las fases 1,3 y 4 suman unos 1,7 GJ/T. En el caso de la fase 1 y 4 la energía utilizada es mayoritariamente eléctrica, mientras que en la fase 3 sigue usándose fuel o gas natural.

▪ TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El templado es uno de los procesos de mayor consumo energético después de la fundición. Recalentar el vidrio hasta rebasar el límite elástico supone alcanzar los 640°C aproximadamente. En términos energéticos estaríamos hablando de 1/3 de la energía necesaria para la fundición, es decir, entre 1 y 2GJ/T aproximadamente. De igual forma, debemos tener en cuenta que se realiza en una máquina independiente al horno de fundición.

▪ TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Los dos procesos de revestimiento con capas metálicas tienen en su origen diferencias energéticas fundamentales. Mientras que el proceso de pirólisis consiste en la inflamación de la capa metálica, el proceso de bombardeo catódico consiste en la generación de un circuito eléctrico. Como sabemos, calentar siempre consume mucha más energía que generar movimiento. En algunos foros de internet consideran que el proceso pirolítico consume 6 veces más energía que el catódico, pero este dato carece de fiabilidad y no ha podido ser contrastado. Sobre el consumo energético de estos procesos no se han encontrado datos específicos.

▪ PROCESOS DE MONTAJE

Los dos principales procesos de montaje son el laminado y el hermético para vidrios dobles con cámara de aire. Ambos procesos son industriales y el consumo energético depende totalmente del rendimiento de la máquina. La principal diferencia entre ellos es que el laminado necesita calentar y presionar, mientras que el sellado hermético solo requiere presión.

VIDRIO PLANO
Combustibles (100%) ^(a)
Horno de fusión: $\approx 80-90\%$
Calderas y calefacción: 3,5%
Hornos para vidrios especiales: 2%
Estirado y extendería: 1,7-5%
Secaderos: 1%
Transportes y grupos electrógenos: 0,1%
Consumo de energía eléctrica (100%) ^(b)
Transformaciones mecánicas: 74%
Electrotermia: 26% ^(c)
Otros: 0,2%

Tabla 4: Consumo de energía por etapas para el vidrio flotado. (Ministerio de Medio Ambiente 2007)

3.3.3. CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua no debería ser excesivamente alto debido a que solo se utiliza para la limpieza de las máquinas y la refrigeración cuando es necesaria el control de temperaturas.

Es importante tener en cuenta que los procesos secundarios de revestimiento superficial y de montaje necesitan un lavado y un secado intensivos con el fin de asegurar que no queden rastros de impurezas. *“El consumo total de agua en el subsector de vidrio plano en España es, en general, poco significativo y equivale a consumos específicos de alrededor de 0,5 m³/t”* (Ministerio de Medio Ambiente 2007)

3.3.4. EMISIONES AL AIRE

La emisión de gases contaminantes y partículas a la atmosfera se debe a que el proceso de flotado es un proceso de combustión a altas temperaturas. El control de estas emisiones ha supuesto uno de los principales retos para la industria. *“El principal aspecto medioambiental asociado con la producción de vidrio plano es que se trata de un proceso a alta temperatura con un uso intensivo de energía. Esto produce la emisión de productos de combustión, y la oxidación a alta temperatura del nitrógeno atmosférico, lo que genera dióxido de azufre, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno”* (Ministerio de Medio Ambiente 2004)

	Hornos sin Eliminación mg/Nm ³ (kg/t. vidrio fundido)	Hornos con Eliminación Métodos Primarios / Secundarios mg/Nm ³ (kg/ t. vidrio fundido)
Óxidos de Nitrógeno (como NO ₂)	1.800 – 2.870 (1,7 - 7,4)	495 – 1.250 (1,1 – 2,9)
Óxidos de Azufre (como SO ₂)	365 – 3.295 (1,0 - 10,6)	218 – 1.691 (0,54 - 4,0)
Partículas	99 - 280 (0,2 - 0,6)	5,0 - 40 (0,02 - 0,1)
Fluoruros (HF)	<1,0 - 25 (<0,002 - 0,07)	<1,0 - 4,0 (<0,002 - 0,01)
Cloruros (HCl)	7,0 - 85 (0,06 - 0,22)	4,0 - 30 (<0,01 - 0,08)
Metales	<1,0 - 5,0 (<0,001 - 0,015)	<1,0 (<0,001)

Tabla 5: Emisiones para el sector del vidrio plano en hornos con y sin eliminación. (Ministerio de Medio Ambiente 2004)

▪ PROCESO DE FLOTADO

Los valores más significativos de las emisiones al aire son de óxidos de nitrógeno o de azufre como hemos comentado anteriormente y sus valores llegan a los 4 kg/T de vidrio.

También son importantes las emisiones de CO₂. “.. las emisiones de CO₂ de las instalaciones de vidrio plano oscilan entre los 500 y 600 g/kg.” (Ministerio de Medio Ambiente 2007)

▪ PROCESOS SECUNDARIOS

Los procesos de tratamiento superficial son especialmente delicados debido a la pulverización de partículas.

“The coating application by the sputtering of metals from metal targets onto the glass surface is generally performed off-line at very low pressure in dedicated vacuum chambers. Emissions will typically contain acid gases (HF, HCl) and fine particulate matter (e.g. oxides of silicon and tin).” (European IPPC Bureau 2013)

Horno	Energía de Fusión (GJ/t.)	Polvo mg/Nm ³ (kg/t.)	NOx como NO ₂ mg/Nm ³ (kg/t.)	SOx como SO ₂ mg/Nm ³ (kg/t.)	HCl mg/Nm ³ (kg/t.)	HF mg/Nm ³ (kg/t.)
VP 1	5,4	196 (0,43)	510 (1,1)	3.381 (7,57)	39 (0,087)	4,8 (0,011)
VP 2	7,74	213 (0,68)	1.473 (4,22)	2.400 (6,87)	19 (0,062)	0,06 (0,0002)
VP 3	6,16	15 (0,04) promedio	1.300 (2,7) promedio	830 (2,1)	30 (0,082)	4 (0,011)
VP 4		156 (0,41)	2.578 (6,82)	748 (1,98)	<10 (<0,03)	<1 (<0,003)
VP 5		11 (0,024) promedio	1.294 (2,94) ⁽¹⁾ promedio	545 (1,24) promedio	9 (0,02) promedio	0,4 (0,0008) promedio
VP 6	6,14	<10 (0,02)	495 (1,12)	295 (0,67)	<5	<1
VP 7	NM	<10 (<0,03)	2.200 (6)	200 (0,56)	<30 (<0,08)	<5 (<0,02)

Tabla 6: Estudio comparativo de consumo energético y emisiones para 7 hornos (Ministerio de Medio Ambiente 2004)

4. LA VIDA ÚTIL DEL VIDRIO

Los elementos transparentes de fachada son, con diferencia, el punto de mayor interacción del edificio con el exterior y por tanto, el elemento con más capacidad para influir en el funcionamiento energético del edificio. Una vez puesto en funcionamiento, el vidrio debe cumplir las exigencias de la envolvente, además de regular el paso de la luz y el calor procedentes de la radiación solar.

En los siguientes apartados se detallan las propiedades del vidrio haciendo hincapié en aquellas que pueden afectar al confort térmico de los usuarios y al consumo energético del edificio.

4.1. PROPIEDADES GENERALES

Las propiedades principales del vidrio, al igual que otros elementos constructivos, dependen principalmente de su estructura química e historial térmico.

Durante las últimas décadas se han ido abriendo la gama de posibilidades, en cuanto a los porcentajes de filtrado de los diferentes tipos de longitudes de ondas del espectro radiante, para poder ajustar el producto a diferentes necesidades.

Otro de los avances importantes ha sido en lo que se refiere a la seguridad estructural, donde procesos como el laminado, el templado o el armado han dado la posibilidad de usar los vidrios como dispositivos antirrobo, antibala o eliminando el peligro para el ser humano en caso de rotura. De igual forma, algunos de estos productos han mejorado la absorción frente a las ondas sonoras permitiendo un mayor aislamiento frente al ruido.

Volumen másico ρ a 18°C	2.500 kg/m ³
Módulo de Young (E)	70.000 N/mm ²
Módulo de rigidez (G)	29.166 N/mm ²
Relación de Poisson ν	0,2
Dureza de Mohs	6
Temperatura de fusión	≈ 1.500°C
Punto de reblandecimiento	≈ 600°C
Coefficiente de expansión lineal α	9.10 ⁻⁶ m/(m.K)
Conductividad térmica λ	1 W/(m.K)
Capacidad térmica específica (c)	720 J/(kg.K)
Resistencia a la flexión:	
vidrio recocido*	45 N/mm ²
vidrio endurecido*	70 N/mm ²
vidrio templado*	120 N/mm ²
Resistencia a la compresión	1000 N/mm ²
Transmitancia térmica (vidrio simple 4 mm)	5,8 W/(m ² .K)
Índice de refracción (n) respecto al aire	1,5
Transmisión luminosa (vidrio simple 4 mm)	0,90
Factor solar (vidrio simple 4 mm)	0,87
Nivel de emisividad normal en un vidrio sin capa (o con capa que no afecta a la emisividad)	0,89

Tabla 7: Principales propiedades de los vidrios de silicato sodocalcicos. (AGC 2013)

4.2. PROPIEDADES ENERGÉTICAS

Cuando hablamos de las propiedades energéticas del vidrio estamos aludiendo directamente a su comportamiento frente a los diferentes tipos de ondas y a su capacidad para intercambiar calor por conducción o convección con el exterior. En este caso no se estudiará el comportamiento frente a las ondas sonoras, solo se pretende atender a cuestiones térmicas.

4.2.1. EL VIDRIO Y LA RADIACIÓN SOLAR

El sol emite radiación de onda corta debido a explosiones nucleares desencadenadas en su núcleo. De esta radiación emitida solo un pequeño porcentaje (1353 w/m^2) llega a la atmósfera terrestre. Este valor se conoce como la constante solar, sin embargo la radiación incidente en nuestros vidrios es inferior porque existe una fuerte dependencia de otros parámetros variables. El ángulo de inclinación y por lo tanto, la masa de atmósfera atravesada, la nubosidad, la orientación o el nivel de contaminación atmosférica modifican constantemente la radiación incidente. El valor normalizado escogido para el cálculo es de 1000 w/m^2

▪ EL ESPECTRO SOLAR

El espectro solar, cuyas longitudes de onda van desde los 280 a los 2500 nm, es solo una pequeña porción dentro de las ondas electromagnéticas que a su vez se divide en 3 tipos de radiación distintos:

- Con longitudes de onda comprendidas entre 280 y 380 se encuentran los rayos ultravioletas que constituyen el 5% de la energía del espectro. Son perjudiciales para la salud y pueden decolorar los objetos debido al alto contenido energético de sus fotones.
- En orden ascendente tendremos el espectro visible, con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm y un porcentaje del 50% de la energía aproximadamente. De la descomposición de éste obtendremos toda la gama de colores en diferentes longitudes de onda.
- Por último están los rayos infrarrojos conocidos comúnmente como “infrarrojo” cercano con longitudes de onda comprendidas entre 780 y 2500 nm.

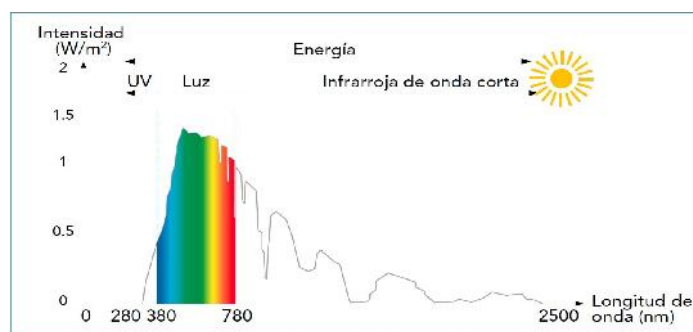


Ilustración 8: Espectro solar radiante (AGC 2013)

Las opciones proporcionadas por la industria actual se basan en perfeccionar qué partes del espectro de ondas electromagnéticas son reflejadas y cuáles son absorbidas o transmitidas.

Es importante mencionar que cuando se quiere estudiar el comportamiento lumínico se atiende única y exclusivamente al espectro visible. En este caso, el estudio abarca todo el espectro debido a que el interés es térmico.

▪ ABSORCIÓN, REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE LOS VIDRIOS

Existen diferentes soluciones para controlar los porcentajes de radiación incidentes que puede atravesar un vidrio de fachada. Para comprender su funcionamiento basta saber que la suma de las tres reacciones posibles frente a la radiación: absorción, reflexión y transmisión; es igual a cero. Además, el 50% de la energía absorbida por el vidrio es emitida hacia el interior, mientras que el otro 50% es emitido hacia el exterior.

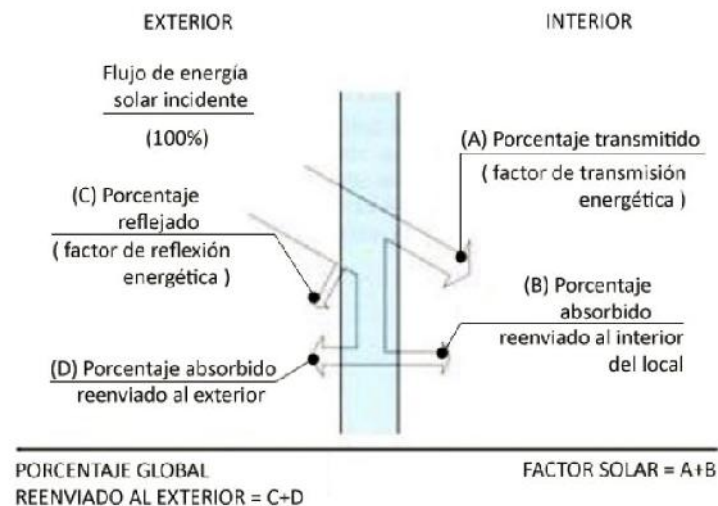


Ilustración 9: Descomposición de la radiación solar incidente. (Saint Gobain Glass 2001)

▪ FACTOR SOLAR

El factor solar es el porcentaje de energía solar incidente que atraviesa el vidrio sin ser reflejado. Este porcentaje es la suma de la radiación transmitida más la radiación emitida. Esta última es el 50% de la absorbida previamente. Los vidrios con un bajo factor solar y por tanto, un alto coeficiente de sombra son utilizados como vidrio de protección frente a la radiación solar.

Es importante tener en cuenta que un bajo factor solar suele conllevar que parte del espectro visible tampoco atraviese el cristal y por ello, pueden producir espacios interiores poco luminosos. El factor solar debe siempre analizarse de forma relativa al caso aplicado pues no siempre el vidrio apropiado es el de menor factor solar.

▪ VIDRIOS COLOREADOS

Son una solución simple frente a la radiación solar. Se explica su baja transmisión radiante por su alta capacidad de absorción. Como consecuencia negativa hay que destacar su baja transmisión del espectro visible, que reduce la cantidad de luz en el interior. En ocasiones, este tipo de vidrios necesita ser templado para evitar la rotura por estrés térmico producida por su alta absorción. El proceso que genera estos vidrios es el coloreado en masa y está descrito en el punto 3.1.

▪ VIDRIOS REFLECTIVOS DE CONTROL SOLAR

Los vidrios de capas también son capaces de modificar las características del vidrio flotado incoloro frente a las ondas electromagnéticas. Actualmente, se utiliza la pirólisis y la pulverización catódica o sputtering para aplicar estas capas. Ambos procesos están explicados en el apartado 3.1 y en el 3.2.2 respectivamente. El funcionamiento de estos vidrios consiste en que la capa aplicada en la cara exterior refleja las radiaciones de onda corta entre las que se encuentra el espectro solar. *“Los vidrios reflectivos son utilizados como vidrios de control solar puesto que tienen un excelente coeficiente de sombra, es decir que su transmisión total de energía es baja gracias a que reflejan un porcentaje mayor de la radiación solar incidente”* (Vásquez Zaldívar 2006)

▪ VIDRIOS DIFUSORES

Los vidrios laminados pueden utilizarse como difusores de la luz solar incidente cuando la lámina de PVB no es transparente sino traslúcida. Esta actúa como una superficie de difusión según la ley de Lambert permitiendo que parte de esa difusión se realice hacia el interior. El proceso de laminado se describe en el punto 3.2.3

4.2.2. EL VIDRIO Y EL CALOR

Para estudiar la transmisión de calor debemos atender a las 3 formas de transmisión existentes, radiación, convección y conducción. En construcción, la primera suele estudiarse por separado, mientras que la convección y la conducción suelen incorporarse a la fórmula del flujo calorífico.

En la actualidad, son dos los métodos principales utilizados para disminuir el flujo de calor interior-exterior.

▪ TRANSMITANCIA TÉRMICA

Las partes transparentes de la envolvente son el área de mayor intercambio calorífico entre interior y exterior y por tanto, su mala aplicación, uno de los principales motivos de los altos consumos en acondicionamiento térmico de los espacios. *“El concepto fundamental consiste en considerar que los materiales componentes de un paramento, que separa dos ambientes a diferente temperatura, ofrecen una resistencia (dificultad) al paso del calor, que dependerá directamente del espesor del material e inversamente de su comportamiento característico (facilidad) como conductor de calor”* (Serra Florensa and Coch Roura 2001). Este comportamiento característico de cada material se denomina conductividad térmica y es un parámetro que define a cada material.

En el caso de los vidrios simple flotados, que no han recibido ningún tratamiento, el valor de U (transmitancia térmica) ronda los 5,6 w/m² K

▪ VIDRIOS BAJO EMISIVOS

La cualidad de estos vidrios radica en no emitir hacia el exterior las ondas caloríficas de larga longitud desprendidas por los objetos o la calefacción, gracias a la aplicación de capas superficiales en los vidrios. Asimismo, la capa aplicada no refleja demasiado el espectro visible con lo que permiten la entrada de luz natural en un alto porcentaje. En conclusión, podemos afirmar que amplían el resultado del efecto invernadero.

Estos vidrios son conocidos como Low-E o vidrios bajo emisivos y sus procesos de fabricación son los mismos mencionados en el apartado anterior para los vidrios reflectivos, el pirolítico y la pulverización catódica.

▪ VIDRIOS DOBLES DE SELLADO HERMÉTICO

Los vidrios dobles tienen como objetivo mejorar la resistencia al paso del calor añadiendo una cámara de aire hermética entre dos o más lunas. La baja conductividad térmica del aire hace que la transmitancia resultante pueda rebajarse del orden de 2 w/m² °K. También, suele utilizarse otros gases con una conductividad menor que mejoran aún más el comportamiento térmico del conjunto vidriado. El proceso utilizado para realizar este tipo de vidrio se describe en el punto 3.3.2

5. ANÁLISIS COMPARATIVO

5.1. CASOS DE ESTUDIO

Se escogen 5 tipos diferentes de acristalamiento con diferentes funciones y procesos de fabricación intentando obtener un elenco representativo de los usos actuales en construcción. Las medidas escogidas serán siempre las de 6mm y sus múltiplos pues son las más comunes y permite, a su vez, comparar en base a otros criterios que no sea la masa o el espesor.

Casos de estudio	Procesos de fabricación					
	Flotado	Coloreado en masa	Pirólisis	Pulverización catódica	Lamindo	Montaje hermético
1_Vidrio simple	X					
2_Vidrio doble	X					X
3_Vidrio laminado	X	X			X	
4_Vidrio Low - E	X			X		X
5_Vidrio doble capa	X		X	X		X

Tabla 8: Procesos de fabricación de cada vidrio. Elaboración propia

▪ VIDRIO INCOLORO MONOLÍTICO (TIPO 1)

El vidrio plano flotado incoloro es el más común en construcción y el que servirá de base comparativa para el resto de acristalamientos. Este vidrio es el resultante del proceso de flotado al que, posteriormente o durante el proceso de fabricación, se le realizan una serie de tratamientos para modificar sus prestaciones. Las medidas estudiadas serán las de 6mm.

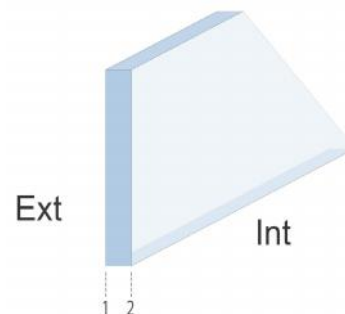


Ilustración 10: Vidrio simple. Elaboración propia

▪ VIDRIO DOBLE CON CÁMARA DE AIRE (TIPO 2)

El vidrio doble consiste simplemente en ensamblar dos vidrios simples mediante un perfil que habitualmente es de aluminio, que deja entre ellos una cámara de aire estanca. Este vidrio es el modelo simple del acristalamiento complejo. Las medidas utilizadas serán las de un vidrio simple de 6mm una cámara de aire de 12mm y otro vidrio simple de 6 en el interior.

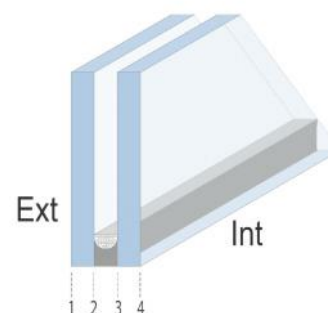


Ilustración 11: Vidrio doble hermético. Elaboración propia

▪ VIDRIO LAMINADO (TIPO 3)

El vidrio laminado consiste en dos vidrios simples que son pegados con una lámina de butiral de polivinilo. También, utilizaremos una capa exterior coloreada en masa y templada de 6mm y una capa interior simple. Las medidas serán dos vidrios simples de 6mm y una capa adherente de 0.76mm. El vidrio laminado suele ser utilizado como vidrio de seguridad y que a su vez, mejora sus cualidades acústicas.

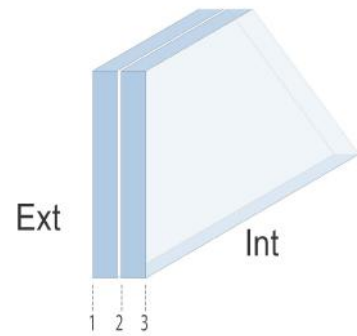


Ilustración 12: Vidrio laminado. Elaboración propia

▪ VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO (TIPO 4)

Este tipo de acristalamiento está conformado por 2 vidrios al igual que el tipo 2 pero con la diferencia de tener una capa interior bajo emisiva. El vidrio bajo emisivo, conocido comercialmente como low-E, suele colocarse en la cara 3 del acristalamiento para un mejor funcionamiento. Las medidas utilizadas serán 6 de vidrio simple, 12 de cámara de aire y 6 de vidrio bajo emisivo.

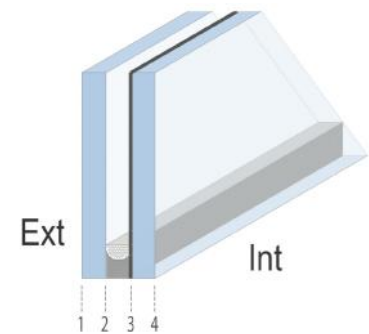


Ilustración 13: Vidrio Low-E Elaboración propia

▪ VIDRIO DOBLE COMPLEJO (TIPO 5)

Este tipo de acristalamiento complejo pretende cumplir con las necesidades energéticas del edificio durante todo el año. Consiste en un vidrio doble igual que el Tipo 2 pero con dos acristalamientos simples tratados superficialmente de forma que el exterior tenga una capa reflexiva y el interior una capa bajo emisiva. Las medidas utilizadas serán 6 de vidrio reflexivo, 12 de cámara de aire y 6 de vidrio bajo emisivo.

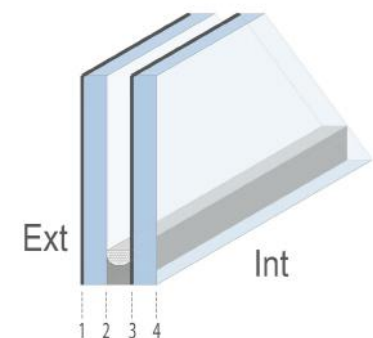


Ilustración 14: Vidrio de doble capa. Elaboración propia

5.2. PARÁMETROS Y MÉTODO DE EVALUACIÓN

Se escogerán, para realizar el análisis comparativo, dos parámetros referentes a impacto ambiental de los procesos de fabricación y otros dos parámetros referentes al funcionamiento del vidrio durante su vida útil. El objetivo es poder obtener una evaluación energética global del elemento constructivo que defina su impacto de la cuna a la tumba de forma resumida.

Los parámetros referentes a la vida útil escogidos serán la transmitancia térmica (U) y el factor solar (g) definidos en el apartado 4.2.1 y 4.2.2. La selección se debe a que ambos atienden al funcionamiento térmico del espacio interior facilitando en un posible análisis futuro la comparación con la energía necesaria para fabricar estos mismos vidrios.

Los parámetros referentes a la fabricación escogidos son la energía incorporada por metro cuadrado de vidrio y el volumen en metros cúbicos de aire contaminado durante la fabricación. Este segundo parámetro se ha elegido debido a que como se ha explicado en el apartado 3.3.4 el proceso de flotado conlleva emisiones diferentes al CO₂. Además, se quería desvincular un parámetro de otro, siendo los kg de CO₂ por Kg de vidrio un parámetro dependiente de la energía incorporada.

La comparación entre los diferentes casos de estudios se ha realizado mediante una gráfica tipo, que es capaz de representar los cuatro parámetros a la vez y que está compuesta por una cruz con dos ejes, cuyo valor en el cruce siempre es 0. En el eje X se colocan los parámetros referentes a las propiedades del vidrio, mientras que en el eje Y se han situado los referentes al impacto ambiental de sus procesos de fabricación. De esta manera, podemos observar formas genéricas que nos permitan identificar rápidamente el tipo de vidrio. Por ejemplo: un vidrio simple con pocas prestaciones (una U y una g grandes) y por ello, un impacto pequeño, tendrá una forma achadata, mientras que un vidrio de altas prestaciones y por tanto, un impacto ambiental mayor, tendrá una forma esbelta.

- Los valores de (U) están expresados en **W/m² °K**
- Los valores de (g) están expresados en **%**
- Los valores de energía incorporada están expresados en **MJ/m²**
- Los valores de volumen de aire contaminado están expresados en **m³**

5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS VIDRIOS

Para poder realizar este análisis se han tomado los datos de las DAP de Saint Gobain Glass (SGG 2012) Las casillas blancas de la tabla son datos extraídos directamente de las DAP, sin embargo las grises son promedios extraídos de la observación detallada de las tablas de DAP.

EVALUACIÓN	Dim.	Peso	Energía	Energía	Emisiones	Trans. U	Factor solar
	mm	kg	MJ/kg	MJ/m ²	m ³ de aire contaminado	W/m ² *k	%
Tipo 1 (simple)	6	15	16,4	246,7	1894	5,7	0,82
Tipo 2 (doble: 2 simples)	6x12x6	30	19,7	589,7	4758	2,7	0,72
Tipo 3 (Laminado: 2 simples)	6x1x6	31	20,7	643	4179	5,5	0,71
Tipo 4 (Doble: simple+Low-E)	6x12x6	30	20,6	619	4990	1,4	0,48
Tipo 5 (Doble: Reflexivo+Low-E)	6x12x6	30	23,8	715,2	5289	1,1	0,29

Tabla 9: Exposición de los valores de los parámetros para cada vidrio. Elaboración propia

5.3.1. VIDRIO SIMPLE Y DOBLE

El vidrio simple monolítico (tipo 1) de 6 mm tiene unas prestaciones muy básicas. Su factor solar es muy grande, lo que permite una gran entrada de radiación y su transmitancia térmica evidencia que este vidrio admite un gran flujo de calor. Por el contrario, su impacto ambiental es bajo en comparación con otros tipos de vidrio.

El vidrio doble hermético (tipo 2) mejora considerablemente la transmitancia térmica pasando de 5,7 W/m² °k a 2,7 W/m² °k pero para ello ha sido necesaria más del doble de la energía por metro cuadrado, ya que duplicamos los kg de materia y sumamos el proceso de sellado hermético y la unión de aluminio. De igual forma, observamos que el factor solar tan solo se ha reducido en un 10%.

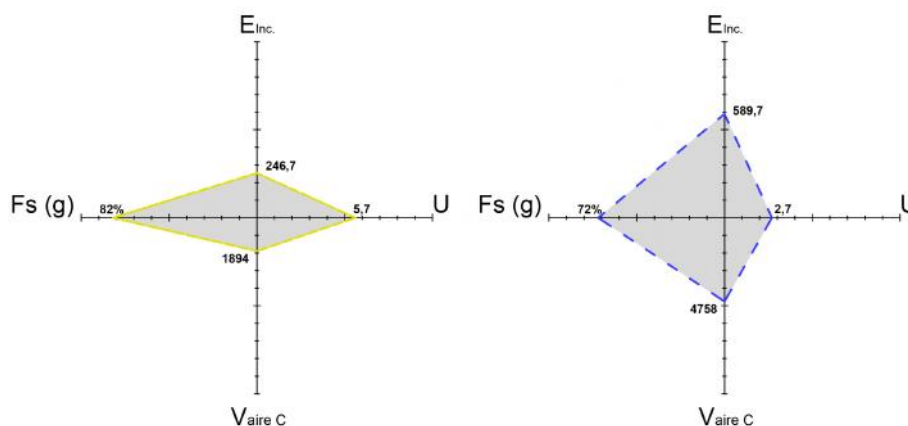


Ilustración 15: Izq. Análisis del vidrio simple (tipo 1). Der. Análisis del vidrio doble (tipo 2) Elaboración propia

5.3.2. VIDRIO LAMINADO

El vidrio laminado es un caso excepcional dentro de los escogidos, debido a que sus propiedades energéticas son escasas. Su elección pretendía comprender el impacto ambiental de un proceso tan usado como es el laminado, que además puede combinarse con otros muchos procesos aportando un gran abanico de posibilidades.

Observando los datos podemos ver que tanto el valor de (U) como el de (g) se asemejan a un vidrio simple, mientras que en su impacto ambiental comprobamos ciertas diferencias con respecto al vidrio doble. La energía incorporada en el vidrio laminado (tipo 3) es aproximadamente un 12% superior a la del vidrio doble (tipo 2) y el volumen de aire contaminado es aproximadamente un 8,5% menos. En el caso de la energía, el aumento se debe a que el proceso de laminado requiere presión y temperatura, además de la fabricación del PVB mientras que para el volumen de aire contaminado el descenso lo atribuyo a la presencia del perfil de aluminio en el vidrio doble (tipo 2), ya que el proceso de sellado hermético se realiza mediante presión.

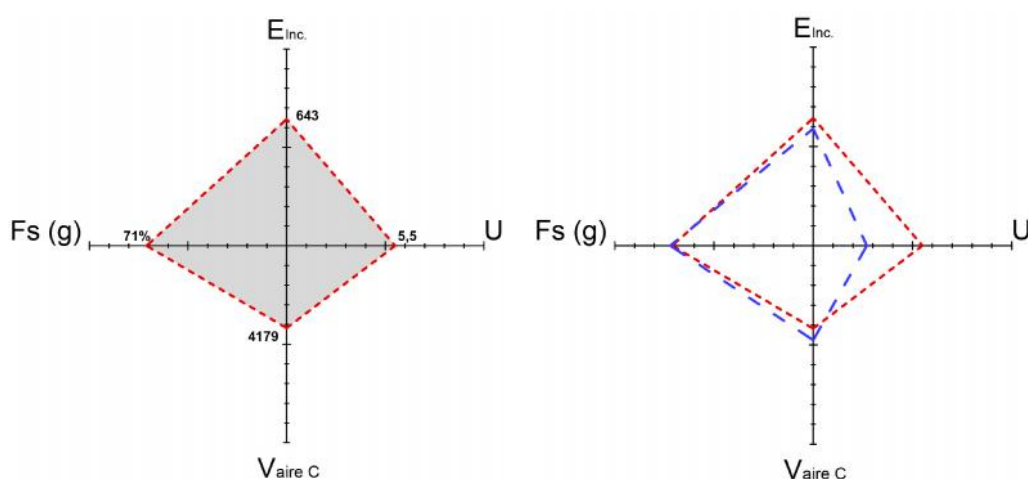


Ilustración 16: Izq. Análisis del vidrio laminado (tipo 3). Der. Comparación entre vidrios tipo 2 y 3. Elaboración propia

5.3.3. VIDRIO LOW-E Y VIDRIO DE DOBLE CAPA

Las prestaciones de estos vidrios son las mejores que se pueden encontrar actualmente en el mercado. Los vidrios de capas superficiales tienen una transmitancia térmica entre 1,7 y 1 W/m² °k y pueden llegar a tener un factor solar inferior al 30%. Esto supone un aumento importante de las prestaciones con respecto al los vidrios expuestos anteriormente. Para el caso del vidrio bajo emisivo estamos disminuyendo la transmitancia térmica (U) en 1,3 W/m² °k y el factor solar (g) en un 23%. Para el caso del vidrio de doble capa, la (U) disminuye en 1,6 W/m² °k mientras que (g) puede disminuirse un 43%.

Si atendemos al impacto ambiental, vemos que las diferencias son en ocasiones muy pequeñas en comparación con el vidrio doble (tipo 2). La diferencia de energía incorporada con respecto al vidrio bajo emisivo (tipo 4) es del 5% mientras que con el vidrio de doble capa (tipo 5) es del 18% aproximadamente. En cuanto al volumen de aire contaminado las diferencias son aun menores. Un 5% con respecto al vidrio bajo emisivo (tipo 4) y un 10% con respecto al vidrio de doble capa (tipo 5).

Si comparamos estos vidrios entre ellos veremos que la principal diferencia reside en la aplicación de la capa pirrolítica que aumenta el porcentaje de energía incorporada. Para reducir el factor solar en un 19% y la transmitancia térmica en $0,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ se aumenta la energía incorporada en un 13% y el volumen de aire contaminado en un 5%.

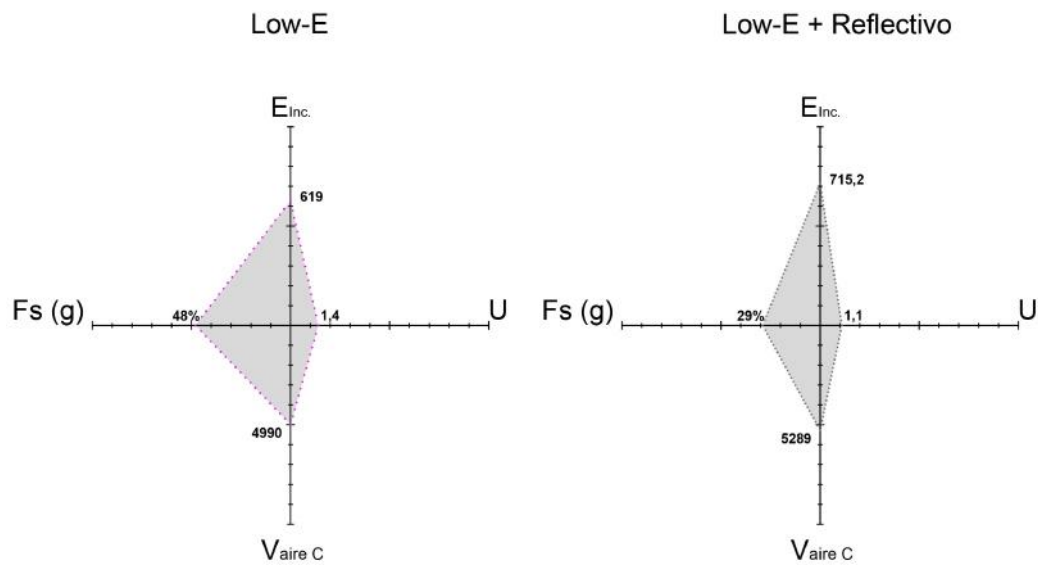


Ilustración 17: Izq. Análisis de vidrio Low-E (tipo 4). Der. Análisis de vidrio de doble capa (tipo 5) Elaboración propia.

5.4. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS

Este análisis se lleva a cabo extrayendo e interpretando datos de las DPA de Saint Gobain Glass entre vidrios iguales con pequeñas diferencias derivadas de procesos o de materias primas. Los parámetros establecidos serán la energía incorporada, los kg de CO₂ y los litros de agua consumidos.

5.4.1. LAMINADO VS SELLADO HERMÉTICO

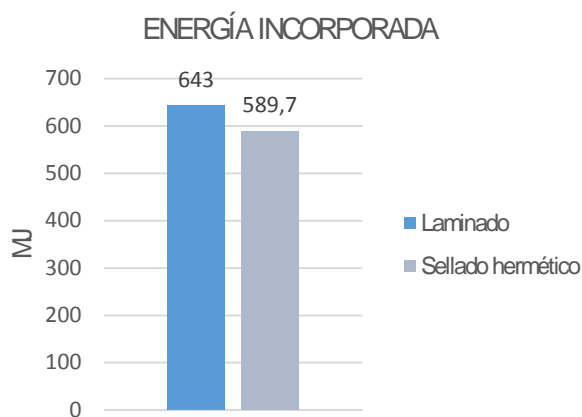


Ilustración 19: Energía incorporada en dos lunas de 6mm para un montaje sellado y otro laminado
Elaboración propia.

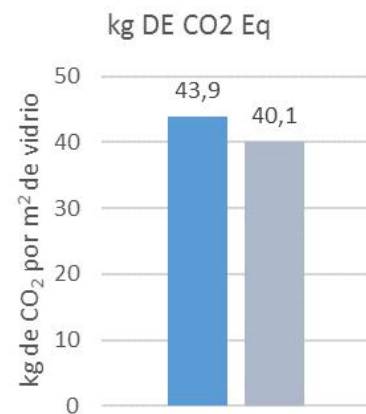


Ilustración 18: Kg de CO₂ para dos lunas de 6mm con un montaje sellado y otro laminado
Elaboración propia.

Los datos expresados en las gráficas corresponden a dos vidrios simples de 6mm montados con el proceso de laminado y con el proceso de sellado hermético.

En este caso, podemos ver que ambos procesos tienen un impacto ambiental parecido con una diferencia del 8% aproximadamente.

Si comparamos dos vidrios dobles sellados herméticamente, cuya única diferencia sea una cámara de aire 4mm más grande, podemos observar que el aumento de energía incorporada corresponde a 26MJ/m². Por tanto, podemos afirmar que una cámara de aire de 12mm lleva asociados 78MJ/m². Este valor implica un 13% de la energía incorporada total.

Si hacemos el mismo análisis para dos vidrios laminados cuya diferencia sea una lámina de PVB de 38mm y otra de 76mm podemos ver que la diferencia de energía incorporada es de 45,9 MJ/m². Por ello, podemos afirmar que duplicar el grosor de la capa de PVB corresponde a un aumento de energía incorporada del 7% por metro cuadrado.

5.4.2. PIROLÍTICO VS MAGNETRÓNICO

Los datos expuestos corresponden a las DAP de Saint Gobain Glass para un vidrio simple de 6mm revestido con una capa pirolítica y otro igual revestido con una capa magnetrónica.

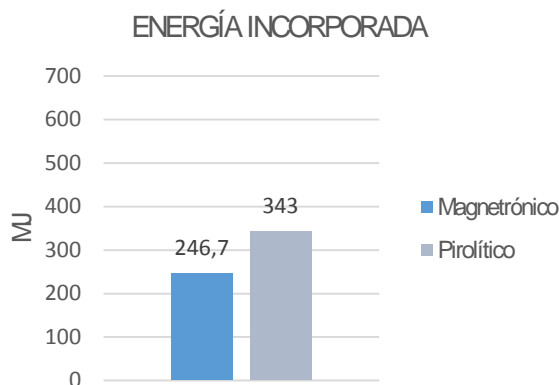


Ilustración 21: Energía incorporada para dos lunas de 6mm con un proceso magnetrónico y otro pirolítico
Elaboración propia.

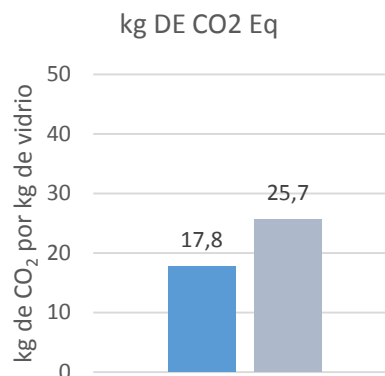


Ilustración 20: Kg de CO2 para dos lunas de 6mm con un proceso magnetrónico y otro pirolítico
Elaboración propia).

Las DPA de Saint Gobain Glass no diferencian los vidrios con una capa magnetrónica de los vidrios sin tratamiento posterior al flotado, por eso asumimos que el impacto ambiental del proceso de pulverización catódica es despreciable. La DPA para uno u otro producto son exactamente la misma.

Según nos indican las gráficas, el proceso de revestimiento por pirólisis tiene un impacto ambiental superior al catódico. Esto se debe a que es un proceso de inflamación de un óxido metálico. El proceso pirolítico incorpora un 28% más de energía por metro cuadrado al producto final que el proceso catódico.

6. CONCLUSIONES

El estudio realizado ha tenido por objetivo conocer el impacto ambiental derivado de las distintas prestación de los vidrios utilizados en construcción.

La principal conclusión extraída hace referencia a que la fundición y el flotado del vidrio, por ser un proceso de alto consumo energético, eclipsa el impacto de los demás procesos que se pueden aplicar (exceptuando el templado y termo-endurecido). El porcentaje de energía incorporada en el producto final que conlleva es aproximadamente del 60%. Así pues, a la hora de elegir, lo primero a tener en cuenta son los kg de vidrio utilizados. Poner un vidrio doble donde podría utilizarse uno simple conlleva incrementar la energía incorporada del producto en más del doble.

Si atendemos a los procesos de montaje, el impacto ambiental en ambos casos es similar, siendo el laminado algo superior. La gran diferencia radica en que el proceso de sellado hermético ofrece unas prestaciones térmicas que difícilmente encontraremos en un vidrio laminado, a menos que lo combinemos con otros procesos.

Con respecto a los tratamientos superficiales, hemos observado que el impacto ambiental de la pirólisis es superior al de la pulverización catódica. Por ello, se debe recomendar el uso de la segunda siempre que pueda evitarse el contacto directo con el ambiente, ya que ambos ofrecen vidrios de iguales prestación.

Los fabricantes están desarrollando actualmente vidrios de capas magnetronicas duras que pueden entrar en contacto con el ambiente. Aplicando este tratamiento superficial a vidrios monolíticos simples podría aumentarse considerablemente sus prestaciones sin que las consecuencias ambientales fueran significativas. Su aplicación podría tener como ámbito climas no extremos.

Para finalizar, incorporando conceptos de mercado, cuesta entender que los vidrios de altas prestaciones (tipo 5) tengan un coste que duplica a los vidrios dobles sin capas superficiales, ya que la diferencia en el coste energético es aproximadamente una tercera parte. Es probable que en estos casos estemos pagando la innovación y la marca, y no el valor real del producto.

7. BIBLIOGRAFÍA

AGC 2013. Your Glass Pocket - Guía del vidrio de yourglass. S.l.:

ESCRIBANO, R.O. 1994. Los vidrios de baja emisividad. *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, Vol. 44, nº 236, pp. 41-42.

EUROPEAN IPPC BUREAU, I. 2013. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for The Manufacture of Glass Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control*. S.l.: s.n. ISBN 9789279282843.

FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M. 1991. *El Vidrio*. Madrid :: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Fundación Centro Nacional del Vidrio. ISBN 8400071301.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE 2004. *Bref del vidrio - Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC)*. S.l.: s.n. ISBN 8483202778.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE 2007. *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio*. S.l.: s.n. ISBN 9788483203897.

SAINT GOBAIN GLASS 2001. *Manual del vidrio plano*. Madrid :: Citav.

SERRA FLORENSA, R. and COCH ROURA, H. 2001. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC. ISBN 9788483014974.

SERT 2014. Sustainable Energy Research Team. University of Bath. [en línea]. [Consulta: 2 August 2014]. Disponible en: <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/research/sert/>.

SGG 2012. Environmental Product Declarations. [en línea]. [Consulta: 29 July 2014]. Disponible en: <http://epd.glassolutions.eu/>.

SGG 2014. Saint-Gobain Glass. [en línea]. [Consulta: 12 June 2014]. Disponible en: <http://www.saint-gobain-glass.com/>.

TECHNISCHES BÜRO FÜR UMWELTTECHNIK 1999. *VDI 2587 - Stand der technik bei der glasherstellung*. S.l.: s.n. ISBN 385457486X.

VÁSQUEZ ZALDÍVAR, C. 2006. *El Vidrio : arquitectura y técnica*. Santiago de Chile :: Ediciones ARQ. ISBN 9561409070.

8. ANNEXO

■ CARACTERÍSTICAS DE LOS VIDRIOS UTILIADOS EN EL ESTUDIO

1- VIDRIO SIMPLE

SGG PLANILUX												
Acristalamiento simple												
Espesor	mm	2	3	4	5		6	8	10	12	15	19
Peso	Kg/m²	5	7.5	10	12.5		15	20	25	30	37.5	47.5
Factores luminosos												
TL	%	91	90	90	89		89	88	88	87	86	83
RL ext	%	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8
RL int	%	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8
Tuv	%	69	64	59	56		53	48	50	47	44	36
Factores energéticos												
TE	%	87	85	83	81		79	75	76	72	69	62
RE ext	%	8	8	7	7		7	7	7	7	7	6
RE int	%	8	8	8	7		7	7	7	7	7	6
AE	%	5	8	10	12		14	18	17	21	24	32
Factor solar g		0.88	0.87	0.85	0.84		0.82	0.80	0.80	0.79	0.75	0.70
Shading coefficient		1.01	1.00	0.98	0.96		0.95	0.92	0.92	0.89	0.87	0.81
Coefficiente U W/(m².K)		5.9	5.8	5.8	5.8		5.7	5.7	5.6	5.5	5.5	5.3

2- VIDRIO DOBLE

SGG CLIMALIT						
Vidrio exterior	SGG PLANILUX					
Vidrio interior	SGG PLANILUX					
Composición (1)	mm	4(6)4	4(12)4	4(16)4*	6(12)6	6(12)6*
Espesor	mm	14	20	24	24	28
Peso	kg/m²	20	20	20	30	30
Factores luminosos						
TL	%	81	81	81	79	79
RL ext	%	15	15	15	14	14
RL int	%	15	15	15	14	14
Tuv	%	44	44	44	38	38
Factores energéticos						
TE	%	70	70	70	64	64
RE ext	%	13	13	13	12	12
AE1	%	10	10	10	15	15
AE2	%	7	7	7	10	10
Factor solar g		0.75	0.76	0.76	0.72	0.72
Shading coefficient		0.87	0.87	0.87	0.83	0.83
Coefficiente Ug	W/(m²,					
Aire		3.3	2.9	2.7	2.8	2.7
Índice de atenuación acústica (3)						
Rw	dB	30	30	30	33	33
C	dB	-1	0	0	-1	-1
Ctr	dB	-3	-3	-3	-3	-5
RA	dB	29	30	30	32	32
RA,tr	dB	27	27	27	30	28

3- VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO DE CAPA MAGNETRÓNICA

SGG PLANITHERM "S": prestaciones en doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS							
Vidrio exterior		SGG PLANITHERM S					
Vidrio interior		SGG PLANILUX					
Composición	mm	4(6)4	4(12)4	4(15)4	6(12)4	6(12)6	6(15)6
Espesor	mm	14	20	23	22	24	27
Peso	Kg/m²	20	20	20	25	30	30
Posición de la capa bajo emisiva	cara	2	2	2	2	2	2
Factores luminosos							
Tl	%	66	66	66	68	64	64
RI _E	%	11	11	11	11	11	11
RI _I	%	11	11	11	11	10	10
UV T _{UV}	%	20	20	20	19	18	19
Factores energéticos							
Tc	%	44	44	44	42	41	41
Rc _E	%	17	17	17	19	16	16
Ae1	%	35	35	35	39	35	39
Ae2	%	4	4	4	3	5	5
Factor solar							
g _{EN 410}		0,50	0,50	0,50	0,48	0,48	0,48
Shading coefficient		0,58	0,58	0,58	0,55	0,55	0,55
Coefficiente U Aire	W/(m².K)	2,5	1,7	1,5	1,7	1,7	1,4
Coefficiente U Argón 90%	W/(m².K)	2,0	1,4	1,2	1,4	1,4	1,2

4- VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO Y REFLEXIVO

SGG COOL-LITE ST y STB: Prestaciones en doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS con aislamiento térmico reforzado												
Aspecto en reflexión		NEUTRO					AZUL		VERDE			
Vidrio exterior SGG COOL-LITE		ST 108	ST 120	ST 136	ST 150	ST 167	STB 120	STB 136	ST 408	ST 420	ST 436	ST 450
Vidrio interior		SGG PLANITHERM FUTUR N										
Composición (Aire)	mm	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6
Posición de la capa control solar bajo emisiva	cara	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	cara	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Factores luminosos												
Tl	%	7	18	33	45	58	19	32	6	15	27	37
RI _E	%	44	32	23	19	21	22	17	31	23	17	15
RI _I	%	35	26	20	19	20	28	19	35	26	20	18
UV T _{UV}	%	2	8	12	15	19	6	11	1	3	4	6
Factores energéticos												
Tc	%	5	11	21	28	38	12	20	3	7	13	18
Rc _E	%	38	27	20	19	24	20	17	17	13	11	10
Ae1	%	56	59	54	44	28	65	58	79	78	74	69
Ae2	%	1	3	5	8	10	3	5	1	1	2	3
Factor solar												
g _{EN 410}		0,10	0,18	0,29	0,38	0,48	0,20	0,28	0,10	0,16	0,20	0,26
Shading coefficient		0,11	0,21	0,33	0,44	0,55	0,22	0,33	0,10	0,16	0,24	0,30
Coefficiente U Aire	W/(m².K)	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7
Coefficiente U E(15)6 Argón 90%	W/(m².K)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

5- VIDRIO LAMINADO

SGG STADIP SILENCE		33.1	44.1	55.1	64.1	66.1	33.2	44.2	55.2	64.2	66.2
COMPOSICIÓN											
Espesor	mm	6	8	10	10	12	7	9	11	11	13
Peso	kg/m ²	15,5	20,5	25,5	25,5	30,5	16	21	26	26	31
Factores luminosos											
TL	%	88	87	86	86	85	88	87	86	86	85
RL ext.	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
RL int.	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
UV Tuv	%	2	2	2	2	2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Factores energéticos											
TE	%	74	71	68	68	65	72	69	66	66	64
RE ext.	%	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6
RE int.	%	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6
AE	%	19	22	25	25	28	21	24	27	27	30
Factor solar g		0,79	0,77	0,74	0,74	0,72	0,78	0,75	0,73	0,73	0,71
Shading coefficient		0,93	0,91	0,89	0,89	0,87	0,91	0,89	0,88	0,86	0,86
Coefficiente U	W/m ² K	5,70	5,70	5,60	5,60	5,50	5,70	5,70	5,60	5,60	5,50
Índice de atenuación acústica											
RW	dB	35	37	38	38	39	35	37	38	38	39
C	dB	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
Ctr	dB	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3	-2	-2	-2
RA	dB	35	36	38	37	39	35	37	38	38	39
RA, tr	dB	32	34	36	35	37	32	34	36	36	37

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VIDRIOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

1. VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO CON CAPA MAGNETRONICA

Nº	Environmental impact	Indicator value for the Reference Service Life			
		6-12-6	6-16-6	8-16-6	Units
1	Consumption of energy resources				
	Total primary energy	619	645	733	MJ
	Renewable energy	22.2	24.1	25.9	MJ
	Non-renewable energy	597	621	707	MJ
	Fuel energy	590	613	699	MJ
2	Depletion of natural resources	0.245	0.255	0.290	kg eq Sb
3	Total water consumption	343	348	404	l
4	Solid waste:				
	Recovered waste (total)	1.67	1.67	1.94	kg
	Waste disposed of:				
	Hazardous waste	0.359	0.417	0.438	kg
	Non-hazardous waste	0.863	1.06	1.1	kg
	Inert waste	29.9	30.1	35.40	kg
	Radioactive waste	0.00232	0.00241	0.00273	kg
5	Climatic change	41.8	43.1	49.5	kg eq CO ₂
6	Atmospheric acidification	0.276	0.283	0.327	kg eq SO ₂
7	Air pollution	4 990	5 244	5 967	m ³
8	Water pollution	12.5	13.0	27.0	m ³
9	Stratospheric ozone layer depletion	4.64 E-10	4.64 E-10	5.33 E-10	kg CFC eq R11
10	Formation of photochemical oxidants	0.0130	0.0135	0.0152	kg eq ethylene
Other indicator (not included in the NF P 01-010)					
11	Eutrophication	20.4	20.5	24.0	g eq PO ₄ ³⁻

2. VIDRIO LAMINADO

Nº	Environmental impact	Indicator value for the Reference Service Life			
		44.2	33.2	44.4	66.2
1	Consumption of energy resources				
	Total primary energy	479	397	602	643
	Renewable energy	14.4	12.7	17.5	17.8
	Non-renewable energy	466	386	587	627
	Fuel energy	448	368	552	607
2	Depletion of natural resources	0.196	0.163	0.249	0.262
3	Total water consumption	244	191	270	349
4	Solid waste:				
	Recovered waste (total)	1.27	0.998	1.31	1.82
	Waste disposed of:				
	Hazardous waste	0.101	0.0827	0.113	0.139
	Non-hazardous waste	19.2	14.5	19.9	28.7
	Inert waste	1.00	0.790	1.00	1.43
	Radioactive waste	0.00574	0.00545	0.0100	0.00634
5	Climatic change	31.9	26.0	38.5	43.9
6	Atmospheric acidification	0.182	0.141	0.192	0.263
7	Air pollution	2 89	2 248	3 015	4 179
8	Water pollution	14.4	11.1	15.5	21.1
9	Stratospheric ozone layer depletion	2.47 E-10	1.83 E-10	2.47 E-10	3.75 E-10
10	Formation of photochemical oxidants	0.00852	0.00698	0.00926	0.0116
Other indicator (not included in the NF P 01-010)					
11	Eutrophication	13.9	10.3	14.1	21.0

3. VIDRIO DOBLE

<i>Impacto Medioambiental</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor para la Vida Útil de referencia</i>
Consumo de recursos energéticos		
Energía Primaria Total	MJ	589,7
Energía renovable	MJ	20,83
Energía no renovable	MJ	568,1
Fuel Energy	MJ	562,1
Agotamiento de Recursos Naturales	kg de antimonio (Sb) eq.	0,23379
Consumo de agua	litro	331,3
Residuo sólido		
Residuo recuperado	kg	1,632
Residuos peligrosos	kg	0,3404
Desechos no peligrosos	kg	0,8623
Residuos inertes	kg	29,692
Residuo radiactivo	kg	0,002200
Cambio climático	kg de CO2 eq.	40,12
Acidificación atmosférica	kg de CO2 eq.	0,26656
Polución de aire	m3	4758
Contaminación del agua	m3	22,273
Agotamiento de Ozono de la estratosfera	kg CFC eq. R11	4,56E-10
Formación de niebla fotoquímica	kg de etileno eq.	0,012404
Eutrofización	g eq PO4 ²⁻	20,089

4. VIDRIO SIMPLE

<i>Impacto Medioambiental</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor para la Vida Útil de referencia</i>
Consumo de recursos energéticos		
Energía Primaria Total	MJ	246,7
Energía renovable	MJ	8,25
Energía no renovable	MJ	238,3
Fuel Energy	MJ	237,1
Agotamiento de Recursos Naturales	kg de antimonio (Sb) eq.	0,09889
Consumo de agua	litro	155,0
Residuo sólido		
Residuo recuperado	kg	0,801
Residuos peligrosos	kg	0,0532
Desechos no peligrosos	kg	0,0137
Residuos inertes	kg	14,500
Residuo radiactivo	kg	0,001030
Cambio climático	kg de CO2 eq.	17,80
Acidificación atmosférica	kg de CO2 eq.	0,12306
Polución de aire	m3	1894
Contaminación del agua	m3	9,973
Agotamiento de Ozono de la estratosfera	kg CFC eq. R11	1,8E-10
Formación de niebla fotoquímica	kg de etileno eq.	0,005744
Eutrofización	g eq PO4 ²⁻	9,169

5. VIDRIO SIMPLE CON CAPA PIROLÍTICA

Nº	Environmental impact	Indicator value for the Reference Service Life				Units
	Thickness	6 mm	4 mm	5 mm	8 mm	
1	Consumption of energy resources					
	Total primary energy	343	234	297	461	MJ
	Renewable energy	10.3	7.99	9.29	12.7	MJ
	Non-renewable energy	333	226	288	448	MJ
	Fuel energy	331	225	286	444	MJ
2	Depletion of natural resources	0.138	0.0943	0.116	0.185	kg eq antimony (Sb)
3	Total water consumption	213	143	183	289	litre
4	Solid waste:					
	Recovered waste (total)	0.830	0.545	0.707	1.13	kg
	Waste disposed of:					
	Hazardous waste	0.0743	0.0493	0.0637	0.101	kg
	Non-hazardous waste	0.0175	0.0136	0.0159	0.00218	kg
	Inert waste	14.73	9.69	12.6	20.13	kg
	Radioactive waste	0.00134	0.0010	0.00118	0.00177	kg
5	Climatic change	25.7	17.81	22.4	34.3	kg eq CO ₂
6	Atmospheric acidification	0.171	0.116	0.148	0.229	kg eq SO ₂
7	Air pollution	2642	1785	2 278	3 565	m ³
8	Water pollution	13.8	9.22	11.9	18.8	m ³
9	Stratospheric ozone layer depletion	2.50 E-10	1.65E-10	2.14 E-10	3.43 E-10	kg CFC eq R11
10	Formation of photochemical oxidants	0.0074	5.39E-03	0.00656	0.0096	kg eq ethylene
Other indicator (not included in the NF P 01-010)						
11	Eutrophication	12.7	8.4	10.9	17.3	g eq PO ₄ ³⁻